



## ERROR EN LA MEDIDA DE VELOCIDAD EN FLUIDOS APLICANDO TÉCNICAS PIV

Daniel Hoyos, Irene De Paul  
UNSa - INENCO<sup>#</sup>  
Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta  
TE: 87-255424  
E-mail: hoyosd @ unsa.edu.ar

**RESUMEN.** El presente trabajo tiene por objeto analizar el error cometido en la medida de la velocidad de fluidos empleando la técnica PIV por captura y procesamiento digital de imágenes. Esta técnica fue desarrollada en INENCO para ser aplicada en sistemas que empleen convección natural para transferir energía, como puede ser un destilador solar. El error en la velocidad proviene del error en la medida del tiempo de captura y en la medida de la longitud de la traza en la imagen capturada por la computadora, que es sometida a procedimientos de discretización. Del análisis de los resultados obtenidos se puede estimar el error en la velocidad en un 22%.

**Palabras clave.** Velocimetría en fluidos, técnicas PIV, procesamiento digital de imágenes, error de medida.

### INTRODUCCION

El método de medida de velocidad de fluido utilizando velocimetría de partículas consiste en introducir en el fluido a ser analizado partículas de densidad próxima a la del fluido, iluminar el experimento con un haz laser expandido que forme un plano iluminado y filmar el experimento con una cámara de video. Las partículas reflejan la luz del laser y su imagen es capturada con una computadora utilizando un frame grabber que la registra como una traza o una secuencia de manchas brillantes [Adrian, 1989, Bjorquist 1990, Dutton, y Molezzi, 1990, Vilde 1993, Hoyos y De Paul 1994, 1998, 1999, 2000]. La figura 1 a) muestra una foto del interior de un destilador donde pequeñas gotas de agua actúan como trazadores. La figura 1 b) muestra una imagen capturada y procesada por la computadora.

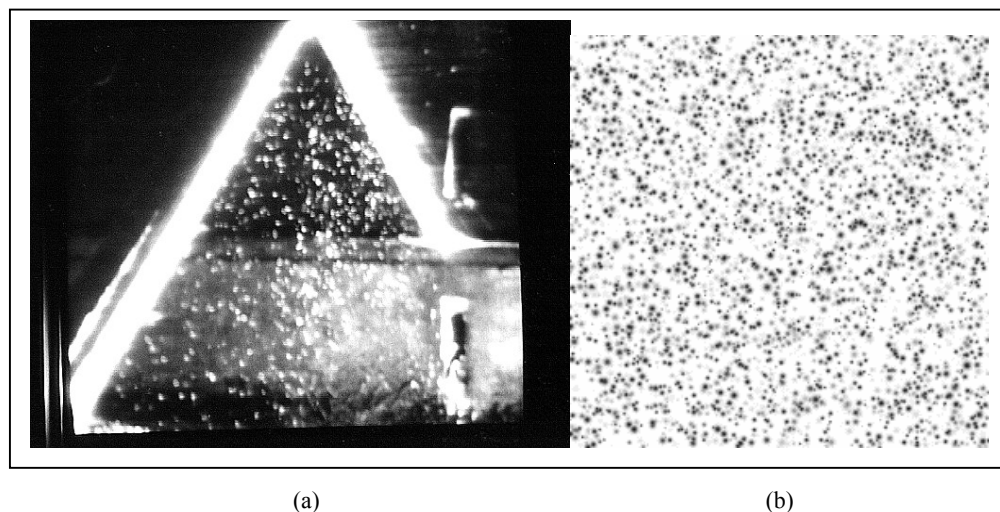


Figura 1. Imagen obtenida por una computadora de los trazadores en el seno de un fluido en movimiento.

El método de medida que estamos analizando está basado en los siguientes supuestos:

1. Las partículas en convección natural se mueven en un plano una distancia muy pequeña.
2. Existen pocas partículas por cm<sup>2</sup> de imagen.
3. Al ser el movimiento lento y al estar las partículas alejadas entre sí no se produce entrecruzamiento de partículas.

---

<sup>#</sup> Instituto UNSa - CONICET

El procedimiento para calcular la velocidad consiste en lo siguiente:

1. Capturar tres imágenes sucesivas tomadas a intervalos  $\Delta t$  (figura 2).

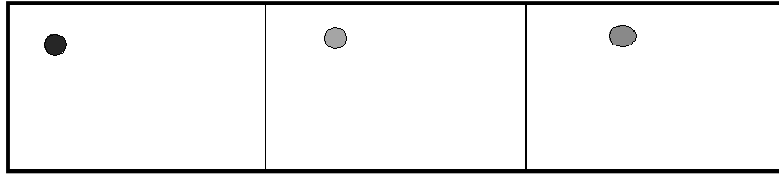


Figura 2: En la figura se muestran tres imágenes de una partícula que se está moviendo en un fluido.

2. Discretizar la imagen de forma de eliminar el ruido de fondo, como se muestra en la figura 3.

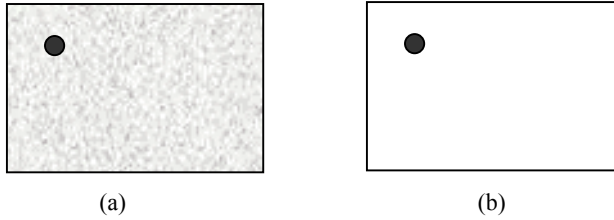


Figura 3. a) Imagen con ruido de fondo; b) imagen procesada sin ruido y discretizada.

3. Superponer las tres imágenes correlativas que fueron adquiridas por el sistema de medida; la imagen resultante forma pequeñas trazas que muestran el desplazamiento de la partícula en un tiempo  $3\Delta t$  (figura 4).

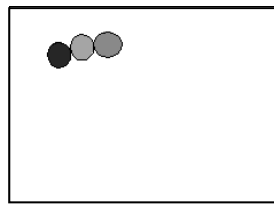


Figura 4: Superposición de tres imágenes

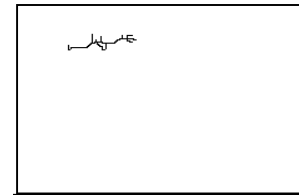


Figura 5: Tratamiento de esqueletización

4. Aplicar un tratamiento de esqueletización que permita determinar los puntos extremos de la traza (figura 5).
5. Determinar el desplazamiento de la partícula midiendo la longitud de la traza  $\Delta l$  a partir de sus puntos extremos.
6. Determinar la velocidad y la dirección del movimiento utilizando las coordenadas de los puntos extremos de la traza y el tiempo transcurrido:  $v = \Delta l / \Delta t$ .

## ANÁLISIS GENERAL DEL ERROR

El error relativo de la medida es:

$$\Delta V/V = \Delta e/e + \Delta t/t$$

donde  $\Delta e/e$  es el error relativo en la distancia recorrida por la partícula y  $\Delta t/t$  el correspondiente al tiempo en que la partícula se desplazó  $\Delta e$ .

### Determinación del error cometido en la medida del tiempo

La cámara de video toma 25 cuadros por segundo; entonces el menor tiempo que podemos discriminar es 40 mseg. La computadora tiene convencionalmente una precisión de 0.1s, pero, haciendo uso del oscilador de 2MH y utilizando una rutina especial se puede conseguir una precisión de 1  $\mu$ s. Por lo tanto podemos decir que el error cometido en la medida del tiempo es de 40 ms. Teniendo en cuenta que el tiempo empleado en tomar cada imagen es 128 ms el error en la medida del tiempo resulta de 10,4 %.

### Determinación del error cometido en la medida de la distancia recorrida

El error cometido en la medida de la distancia recorrida está asociado a dos procedimientos: la calibración de la cámara y la

discretización de la imagen de la traza.

**Error de calibración.** En el proceso de medir longitudes empleando una cámara de video y una computadora se debe poner en correspondencia la longitud medida en pixels sobre la pantalla de la computadora con la longitud real medida en cm del objeto a medir. Para esto se debe establecer una matriz de transformación que transforme el pixel en unidades de medida, la cual depende de la perspectiva con la que fue tomada la imagen, la magnificación del sistema óptico, etc. Este proceso se denomina *calibración de la cámara* [Hoyos y De Paul 2001].

Para analizar el error de calibración se utilizaron como referencia tres placas metálicas rectangulares de longitud conocida, que simulaban ser trazas. Las placas fueron colocadas en posición horizontal, vertical e inclinada, y la cámara fue colocada en una posición similar a la utilizada durante las experiencias anteriores. Se aplicó el algoritmo de medida descrito antes y se comparó el valor obtenido en la longitud con las medidas realizadas con calibre. La figura 6 muestra la imagen utilizada como referencia para calibrar la video cámara.

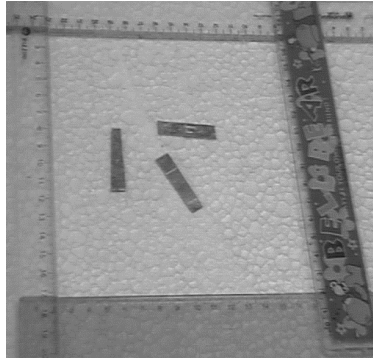


Figura 6: Superficies utilizadas para analizar el error de calibración.

Las longitudes de referencia de las placas se muestran en la Tabla 1. El proceso de calibración mostró que en las condiciones en que fue captada la imagen cada pixel representa 0,5 mm. Como la apreciación sobre la pantalla es de  $\pm 1$  pixel, el error de calibración es  $\pm 0,5$  mm y su contribución al error en la longitud es del  $\pm 1,5\%$ .

| Placa          | Longitud, mm |
|----------------|--------------|
| I, horizontal  | 36,2         |
| II, vertical   | 36,5         |
| III, inclinada | 35,9         |

Tabla 1 : Longitud de las placas.

**Error de discretización .** Durante el proceso de discretización es necesario filtrar la imagen para eliminar el ruido y discretizarla llevándola a dos niveles de color para tener mayor definición en los bordes de la traza. El nivel de intensidad en el que se realiza el filtrado y discretización depende de las texturas del fondo; cuanto mayor sea el ruido, mayor es nivel de discretización y tanto más se modifica la traza en sus bordes. Este procedimiento afecta el proceso de medida e introduce un nuevo error en la medida de una longitud.

Para analizar su influencia se colocaron las placas sobre distintas superficies (Tabla 2), que introdujeron diferentes texturas al fondo de la imagen (figura 7), se procedió a medir las longitudes con el procedimiento descrito, con distintos niveles de discretización y se analizó el error correspondiente. En la figura se observan las placas metálicas utilizadas y los distintos fondos que simulan distintas condiciones de ruido.

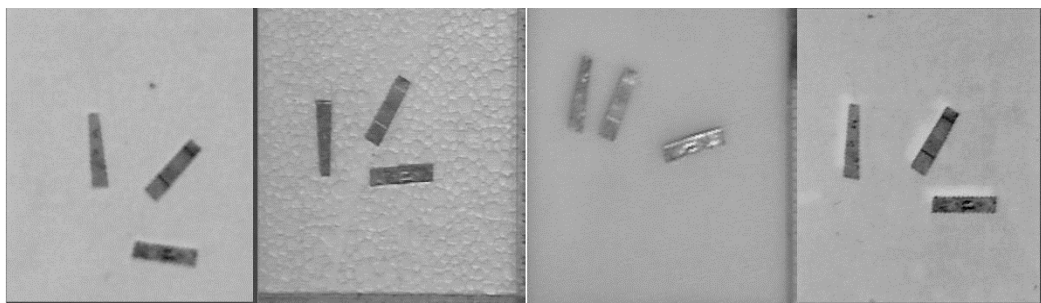


Figura 7. Las placas colocadas sobre distintos fondos.

| Fondo | Superficie              |
|-------|-------------------------|
| 1     | Plástico negro          |
| 2     | Poliuretano expandido   |
| 3     | Plástico naranja        |
| 4     | Plástico negro + vidrio |

Tabla 2. Distintos fondos utilizados.

Se procedió a discretizar las imágenes y posteriormente realizar el tratamiento de esqueletización. Los niveles de discretización utilizados son : 60, 80, 100, 120, 140, 160. El resultado se muestra en la figura 8.

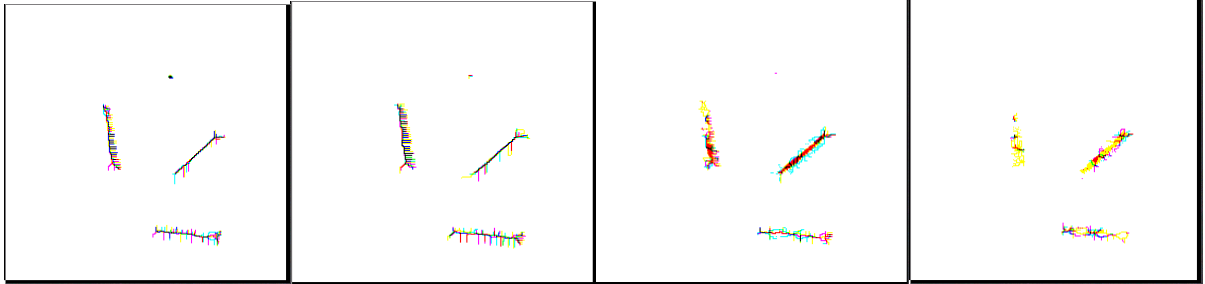


Figura 8. Esqueletización de una imagen de las placas con niveles de discretización 100, 120, 140, 160 respectivamente.

La longitud de las placas se midió teniendo en cuenta que el algoritmo de esqueletización no produce un extremo único en la traza sino que presenta varios; por lo tanto se midieron las distancias entre los extremos más alejados como se muestra en la figura 9 y se asignó a la longitud medida el valor medio.

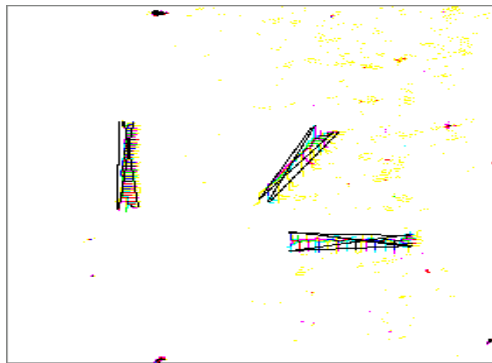


Figura 9. Distancias medidas sobre una traza

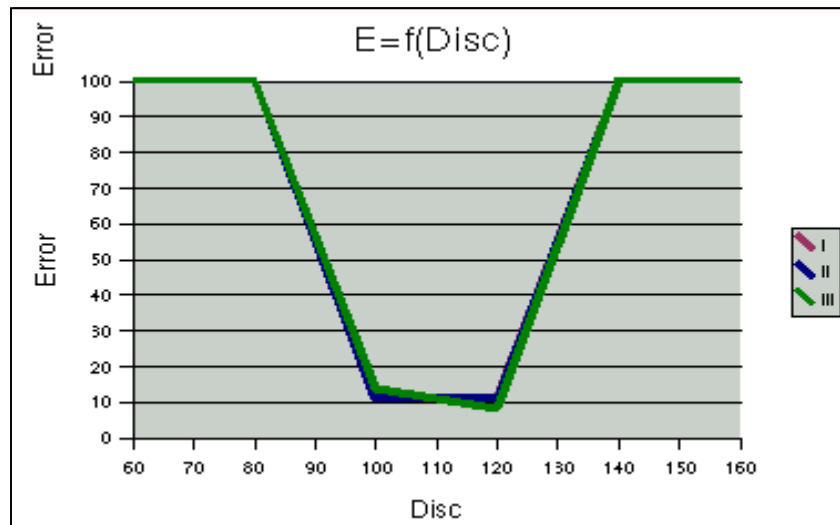


Figura 10. Error en la medida de la longitud de las placas en función del nivel de discretización.

Se puede observar que para los niveles de discretización menores a 100 se observan muchas trazas espúreas que dificultan la medida, por lo tanto se concluyó que el error en la medida de la longitud era del 100 %. Para los niveles de discretización por encima de 140 aparecen trazas cortadas y por lo tanto también se concluyó que de esos niveles de discretización no se podía obtener información alguna, por lo que error es del 100 %.

Para los niveles de discretización entre 100 y 120 se puede observar que existe una sola traza cuya longitud se puede medir con un error del 10% al 12% dependiendo de su orientación. Estos resultados se muestran en la figura 10. Estos errores corresponden a la imagen tomada con la superficie negra. Analizando los distintos fondos se obtuvo que no se podía obtener ninguna información del fondo 3 Pero que los fondos 1, 2 y 4 tenían gráficos similares al del fondo 1.

Analizando los histogramas de las imágenes (figura 11) tomadas sobre distintos fondos se puede observar que en el fondo 3 la mayor parte de los puntos de la imagen están muy cerca de la iluminación correspondiente a las trazas por lo tanto se pierde la información. La iluminación debe ser tal que el máximo del fondo esté alejado del valor de iluminación de las trazas (buen contraste).

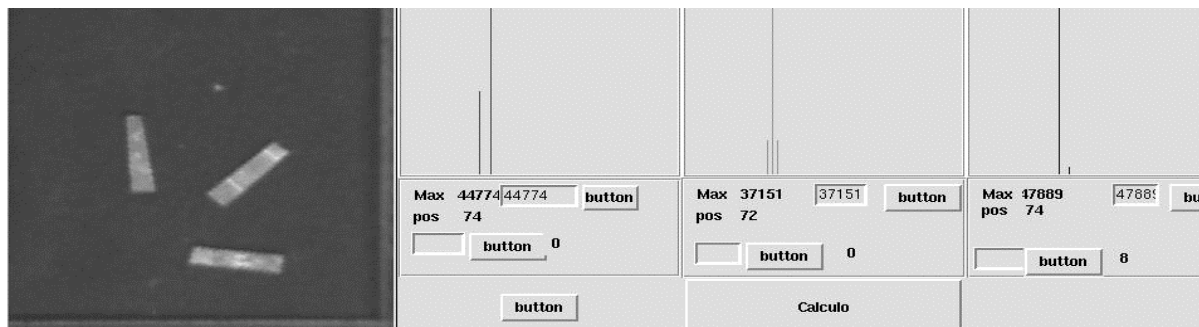


Figura 11. Histograma de la imagen correspondiente al fondo 1.

En definitiva, podemos decir que el proceso de discretización contribuye al error en la medida de la longitud en un 10% al 12%.

Teniendo en cuenta la contribución de los distintos factores analizados podemos estimar el error porcentual en la medida de la velocidad entre un 21,4% y un 23,4%.

## CONCLUSIONES

En función de lo expuesto podemos concluir lo siguiente.

- El error en la medida del tiempo es del 10% y está determinado por la velocidad de la cámara de video.
- El error de calibración depende de la magnificación y las condiciones en que se tomó la imagen pero es relativamente pequeño, contribuyendo con un 1,5% en las experiencias realizadas.
- El error de discretización depende de las características del fondo y del nivel de discretización, y dentro de la ventana de nivel 100 a 120 contribuye entre un 10% y un 12% dependiendo de la orientación de la traza.
- Para niveles de discretización por debajo de 100 y por encima de 120 el error del método puede alcanzar el 100%.
- Se puede estimar el error porcentual en la medida de velocidad en fluidos empleando este método en alrededor del 22%.

## BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- Stevens T. Wereley *Accuracy Improvements in Particle Image Velocimetry Algorithms*
- Amir Naqwi *Distorsion Compensatio for PIV Systems* TSI Inc.
- Wing T. Lai Bjorkquist Abbot Amir Naqwi *Video system for PIV recording* TSI Inc.
- D. Hoyos, I. De Paul. "Introducción a la estereografía en la instrumentación en energías renovables". Comunicación. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. **Vol. 5**, versión CD. (2001).
- D. Hoyos, I. De Paul. "Sistema de medición de flujos de aire". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. **Vol. 4**, Tomo 2, pp.08.35-08.40. (2000).
- D. Hoyos, I. De Paul. "Sistema de calibración de un medidor de velocidad de flujo de aire usando procesamiento digital de imágenes". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. **Vol. 3**, Tomo 1, pp.08.109-08.113. (1999).
- D. Hoyos, I. De Paul. "Método de medida de velocidad en fluidos usando procesamiento digital de imágenes". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. **Vol.2**, Tomo 1, pp :05.17. (1998).
- D. Hoyos, R. Penas Martín, I. De Paul. "Programa de análisis de trayectorias en sistemas solares pasivos". Actas de 18a. Reunión de ASADES. San Luis. 1995.
- D. Hoyos, I. De Paul. "Programa de captura de imágenes, procesamiento y cálculo para medición de velocidades en líquidos." Actas de la 17a. Reunión de ASADES. Tomo II pp: 683-688. Rosario. Octubre. 1994.

Adrian, R. J. Applications of particle image velocimetry . *Flow visualisation. ASME FED- Vol 85*, 23, (1989).

Bjorquist, D.G. "Particle image velocimetry analysis system". TSI Report. (1990).

Vilte, M., Velocimetría en fluidos por fotografía de trazas, *Informe final de Beca de Graduados, Consejo de Investigación unas.* (1993).

Dutton, J. C., Molezzi, M. J. Particle image velocimeter for high speed flows. *Technical Report*, University of Illinois, (1990).

Khalighi, B., Braun, M. J., Freitas, C. J. (Editores) "*Flow visualization – 1989*". *ASME Transactions*, (1989).

Kobayashi, T., Saga, T., Sekimoto, K. Velocity measurement of three dimensional flow around rotating parallel disks by digital image processing. . *Flow visualisation. ASME FED- Vol 85*, 29, (1989).

Lim, J. S. "*Two dimensional signal and image processing*". Prentice Hall International Editions. (1990).

Park, J. T., Muller, M. A., Rezaie, B. Digital image processing of laminar boundary layer data. . *Flow visualisation. ASME FED- Vol 85*, 87, (1989).

Tsurusaki, H., Urata, T. A measuring method for three-dimensional steady flow by digital image processing of pathline pictures. . *Flow visualisation. ASME FED- Vol 85*, 95, (1989).

TSI – Innovation in Thermal Anemometry. (1999).

#### **Abstract.**

The objective of this work is to analyze the error of the velocity measurements in fluids employing PIV techniques by capture and digital image processing. This technique was developed at INENCO to be applied on systems that use energy transfer by natural convection such as a solar still. The error of the velocity arise from the time of capture and trace length measurements of the image captured by the computer, during the discretization procedures. The results of the analysis show that the error of the velocity measurement is about 22%.

**Key words:** velocimetry in fluids, PIV techniques, digital image processing, measurement error.